

МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ 45

Вострецова А.В., Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е.

Руководитель – проф., д.ф.-м.н. Громов В.Е.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк
ani-vo@yandex.ru

Необходимость повышения конструкционной прочности материалов стимулирует совершенствование технологий их упрочнения. Предпочтение отдается методам упрочняющей обработки металлов и сплавов, использующим в качестве теплового источника концентрированные потоки энергии (КПЭ): лазерное излучение, электронные и ионные пучки, плазменные потоки и струи. К ним относится и электровзрывное легирование (ЭВЛ), суть которого состоит в изменении структурно-фазовых состояний и свойств поверхностных слоёв металлов и сплавов, путём оплавления и насыщения поверхности продуктами электрического взрыва проводников с последующей самозакалкой. Имеющиеся данные показывают, что ЭВЛ позволяет повышать такие свойства поверхности как микротвердость, износо- и жаростойкость. Однако в ряде случаев сдерживающим фактором его практического использования ЭВЛ являются высокие градиенты структурно-фазовых состояний и формирование на поверхности обработки высокоразвитого рельефа, содержащего большое количество капельной фракции, пор, микротрещин. Возможности ЭВЛ могут быть усилены сочетанием этого вида обработки с другими видами обработки. В последние годы показано, что большими технологическими возможностями обладает электронно-пучковая обработка (ЭПО) низкоэнергетическими сильноточными электронными пучками. Целью настоящей работы является выявление закономерностей формирования структурно-фазовых состояний с целью повышения свойств поверхностных слоёв углеродистой стали 45 при комбинированной обработке, включающей электровзрывное бороалитирование и последующую ЭПО.

Комбинированной обработке подвергались образцы углеродистой стали 45 с феррито-перлитной структурой. Для вырезки образцов использовали прутки диаметром 20 мм, которые представляли собой цилиндры диаметром 20 мм, высотой 5 мм. ЭВЛ осуществляли на установке ЭВУ 60/10 путем электрического взрыва алюминиевых фольг толщиной 20 мкм, помещая в область взрыва навески порошка аморфного бора массой 60 мг. Условия для осуществления импульсного жидкофазного легирования задавали величиной зарядного напряжения накопителя энергии ускорителя, диаметра канала сопла и расстояния от его

среза до образца, которые составили 2,3 кВ, 20 и 20 мм, соответственно. При этом глубина и радиус зоны легирования были максимальными. Время обработки 100 мкс, поглощаемая плотность мощности на оси струи $4,5 \text{ ГВт/м}^2$, давление в ударно-сжатом слое вблизи поверхности – 11,2 МПа. Последующую ЭПО осуществляли на лабораторной установке «СОЛО» в различных режимах, при которых изменялись три основных параметра, такие как, поглощаемая плотность мощности (q), длительность импульсов (τ) и число импульсов (N). Оптимальные режимы с точки зрения максимального упрочнения поверхности были следующими: режим 1: $q = 4 \text{ ГВт/м}^2$, $\tau = 50 \text{ мкс}$, $N = 10$; режим 2: $q = 1 \text{ ГВт/м}^2$, $\tau = 200 \text{ мкс}$, $N = 10$.

Исследования структуры поверхности облучения, поверхности хрупких изломов, поверхности травленого «косого» шлифа с углом наклона $6...7^\circ$ образцов после модификации проводили методами оптической, сканирующей и просвечивающей дифракционной электронной микроскопии. Изменение механических свойств материала характеризовали микротвёрдостью, определяемой по методу Виккерса и износостойкостью в условиях сухого трения скольжения без смазки.

Сканирующая электронная микроскопия показала, что дополнительная после электровзрывного бороалитирования импульсная ЭПО стали 45 приводит к выравниванию рельефа поверхности, частичному залечиванию микротрещин и повышению функциональных свойств, таких как микротвёрдость, износо- и жаростойкость. Просвечивающая дифракционная электронная микроскопия показала, что фазовый состав поверхностных слоёв стали 45 после комбинированной обработки сформирован кристаллами мартенсита, прослойками остаточного аустенита, зёрнами и субзёрнами феррита и выделениями частиц вторых фаз.

Микротвёрдость стали 45 после электровзрывного бороалитирования и ЭПО составляет 16000 МПа, а глубина упрочнения 90 мкм. В исходном состоянии микротвёрдость – 2000 МПа. Износостойкость в условиях сухого трения скольжения после комбинированной обработки увеличивается в 6 раз.

Таким образом, комбинированная обработка сопровождается значительным выравниванием поверхности материала, т.е. снижением шероховатости, пористости, размеров и количества капельной фракции. Кроме того, ЭПО после ЭВЛ приводит к повышению функциональных свойств поверхностных слоёв, а именно, микротвёрдости и износостойкости.

Работа выполнена при поддержке грантом РФФИ (проект №№ 08-02-00024) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009...2013 гг. (гос. контракт № П332).